Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Comparison of species distribution models in determining the habitat landscape of *Pistacia vera* L. specie in Razavi Khorasan province

Javad Momeni Damaneh[1], Seyed Mohammad Tajbakhsh [2]*, Jalil Ahmadi[3], Ali Akbar Safdari[4]

[1] Graduated Ph.D. Student, Natural Resources Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran
[2] Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
[3] Ph.D. Student, Rehabilitation Arid and Mountainous Regions Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
[4] Graduated M.Sc. Student, Natural Resources Engineering Department, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

Introduction

Global climate change has led to change in the ecological amplitude of plant growth, expand plant adaptation to hot climates, and decrease plant adaptation to cold climates. Climate change resulting from human activities occurs at such a speed that many species will not be able to adapt to it. These changes have led to a change in the range of plants growth. Such high-speed changes have caused subsequent changes in the structure and entire ecosystems of the earth, therefore predicting the effect of climate change on the distribution of plant species has become a major field of research for its conservation measures and programs. Changes in the range of distribution of plants are mostly predicted by species distribution models. In this sense, every environmental factor affecting the distribution of plant species has a minimum, maximum and optimal value, which, in combination with other factors, separates the territory of the species and forms an ecological niche. These models are used to investigate species distribution and are based on ecological niche theory. This research was conducted with the aim of determining the potential habitats of *Pistacia vera* L. species and the factors affecting it in the present and future in Razavi Khorasan province.

Materials and Methods

For this purpose, 28 bioclimatic variables including topographic (4 cases), climatic (19 cases), soil (4 cases), and geological (1 case) factors as prediction variables have been analyzed for the correlation coefficient. The variables with high correlation (more than 80 %) have been removed. Environmental variables in ASCII format along with presence points were added for modeling in R software of the desired species. According to the size of the study area, sampling of data points was done based on the field visit during the period 2021-2022 from the introduced areas. through using the Global Positioning System (GPS) of 129 points from 8 regions (as points of presence) were recorded. Then, in order to prevent spatial autocorrelation and reduce the sampling error, the useful areas were converted into 1000×1000 meters grids in ArcGIS 10.5 software, and one presence point was obtained from each cell. In the modeling process, 70 % of the presence points (*Pistacia vera* L.) were used to generate models and 30 % of the presence points were used to evaluate the performance of the models. Also, to increase the modeling accuracy, the number of repetitions was considered 10. Then all data and points through R software and using Biomed 2 package models including GLM, GBM, CTA, ANN, SRE, FDA, MARS, RF, and MaxEnt Phillips models, in determining the relationship between vegetation and environmental factors in rangelands of Khorasan Razavi province at current and future distribution of this species in 2080-2100 were predicted under climate scenarios ssp1-2.6 and ssp5-8.5 model. The accuracy of the models was evaluated using the values of KAPPA, TSS and ROC indices, which are prominent and widely used indices for determining and identifying the areas of equal potential.

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Results and Discussion

The variables of climatic factors were removed from the modeling due to the high correlation of 80 %, and the analysis was done using four topographic factors, eight climatic factors, four soil factors and one geological factor. The results of this research showed that according to the accuracy evaluation index, the best modeling for the present time is done by the random forest (RF) model with the ROC, KAPPA, and TSS equal to 100. In the future, the 2.6 and 8.5 scenarios of the random forest model for the ROC, KAPPA, and TSS indicators, with the accuracy of 0.999, 0..982, and 0.989 respectively, have the highest level of accuracy; Also, in the random forest model, the factors that had the greatest impact included: Bio12 (annual precipitation) and Bio15 (seasonal precipitation changes) and land unit at the present time, in the future time under the scenario 2.6 Bio12 (annual precipitation) and Bio15 (seasonal precipitation changes) and DEM and in the scenario 8.5 Bio15 (seasonal precipitation changes) and Bio12 (annual precipitation) and aspect. The results of the relative importance show the great influence of climatic factors on the distribution of this species. It is most present in the habitat with an annual rainfall of 200-285 mm, and more than this amount of rainfall was associated with a decrease in suitability for the establishment of the species. Besides, the height of 800-1300 meters above sea level and rainfall changes up to 7.8 mm in seasonal rainfall also had a positive effect on the suitability of the habitat for the presence of wild pistachio. Also, the most desirable habitat is in low to relatively high hills with a rounded and sometimes flat top consisting of limestone, metamorphic, conglomerate, and shale sandstones and a slope of 40 to 50 % and with shallow to relatively deep gravelly soils. The highest distribution of *Pistacia vera* L. species is in the northeastern region to the east of Khorasan province. In general, by examining the outputs of the random forest model and comparing the areas prone to the growth of *Pistacia vera* L. species in the present and future climate scenarios, it can be stated that the trend of stable habitat in the province can be expected.

Conclusion

The results of this research can be used to identify areas prone to growth, improvement, development, protection, economic exploitation, and expansion of the habitat of *Pistacia vera* L. species. From the ecological point of view, the wild pistachio species is considered as one of the most important factors preventing and destroying land in the high mountains of arid and semi-arid regions in many geographical and ecological regions. On the other hand, the economic importance and the income-generating aspect of wild pistachios are also important for local operators. In general, it can be stated that vector machine models provide very good performance for identifying such prone areas. In this research, an attempt was made to evaluate different species distribution vector machine models, and then the most suitable model, which was random forest, was selected.

Keywords: Arid and semi-arid areas, Climate change, Geographical distribution, Habitat suitability, WorldClim

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

Citation: Momeni Damaneh, J., Tajbakhsh, S.M., Ahmadi, J., & Safdari, A.A. (2023). Comparison of species distribution models in determining the habitat landscape of *Pistacia vera* L. specie in Razavi Khorasan province. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 77-92.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11698.1160
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.7.1

Received: 23 October 2022, Received in revised form: 05 November 2022, Accepted: 06 November 2022, Published online: 06 November 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 4, pp. 77-92
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

مقایسهٔ مدل‌های پراکنش گونه‌ای در تعیین چشم‌انداز رویشگاه گونهٔ پستهٔ وحشی (*Pistacia vera* L.) در استان خراسان رضوی

جواد مومنی دامنه[۱]، سید محمد تاج‌بخش فخرآبادی[۲*]، جلیل احمدی[۳]، علی‌اکبر صفدری[۴]

[۱] دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

[۲] دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

[۳] دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۴] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

تغییر اقلیم حاصل از فعالیت‌های انسانی، با چنان سرعتی رخ می‌دهد که بسیاری از گونه‌ها قادر به سازگاری با آن نخواهند بود. در واقع پیش‌بینی می‌شود در پایان قرن ۲۱، بخش بزرگی از تنوع زیستی جهانی از بین برود. هدف تعیین گسترهٔ رشد گونه با قابلیت بهره‌برداری در استان خراسان رضوی در زمان حال و آینده است. بدین‌منظور، ۲۸ متغیر محیطی شامل خاک‌شناسی، توپوگرافی و اقلیمی به‌عنوان متغیرهای مدل‌سازی مورد تحلیل همبستگی قرار گرفته و متغیرهای دارای همبستگی زیاد (بالای ۸۰ درصد) حذف شدند. با توجه به وسعت زیاد منطقه، نمونه‌برداری نقاط حضور، با بازدیدهای میدانی طی دورهٔ زمانی ۱۴۰۱–۱۳۹۹ صورت پذیرفت. محدوده‌های مفید یا همان مناطق حضور قابل بهره‌برداری به شبکه‌های ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر تبدیل و از هر سلول یک نقطهٔ حضور به‌دست آمد. در مجموع ۱۲۹ نقطهٔ حضور از هشت منطقهٔ قابل بهره‌برداری در استان به‌دست آمد. سپس، کلیهٔ داده‌های محیطی منتخب و نقاط حضور در نرم‌افزار R با استفاده از مدل‌های بستهٔ بایومد ۲ (Biomod2) برای تعیین روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی در مراتع استان خراسان رضوی پیش‌بینی شد. ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های KAPPA، TSS و ROC مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شاخص‌های ارزیابی در زمان حال، مدل جنگل تصادفی با صحت ۱۰۰ درصد و در زمان آینده با سناریوی ۲/۶ و ۸/۵ با صحت ۰/۹۸۲، ۰/۹۸۹ و ۰/۹۹۹ به‌عنوان بهترین مدل مشخص شد. هم‌چنین اهمیت نسبی در مدل برگزیده و متغیرهایی که بیش‌ترین تأثیر را در توزیع جغرافیایی گونهٔ پستهٔ وحشی در زمان حال شامل جمع بارش سالیانه، تغییرات فصلی بارندگی و اجزاء واحد اراضی و در زمان آینده نیز تحت سناریوی اقلیمی ۲/۶ تأثیرگذارترین عوامل شامل مجموع بارش سالیانه، تغییرات فصلی بارندگی و مدل رقومی ارتفاع و در سناریوی اقلیمی ۸/۵ مهم‌ترین عوامل شامل تغییرات فصلی بارندگی، جمع بارش سالیانه و جهت شیب داشتند. نتایج حاصل از بررسی اهمیت نسبی نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد عوامل اقلیمی بر پراکنش این گونه است؛ بیش‌ترین پراکنش گونهٔ پستهٔ وحشی در منطقهٔ نوار شمال شرقی تا شرق استان خراسان گسترش دارد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان برای اصلاح و حفاظت و هم‌چنین بهره‌برداری اقتصادی و گسترش رویشگاه گونهٔ پستهٔ وحشی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، توزیع جغرافیایی، مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطلوبیت زیستگاه، WorldClim

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

استناد: مومنی‌دامنه، جواد، تاج‌بخش فخرآبادی، سیدمحمد، احمدی، جلیل، و صفدری، علی‌اکبر (۱۴۰۲). مقایسهٔ مدل‌های پراکنش گونه‌ای در تعیین چشم‌انداز رویشگاه گونهٔ پستهٔ وحشی (*Pistacia vera* L.) در استان خراسان رضوی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۹۲–۷۷.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11698.1160

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.4.7.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۴، صفحه ۷۷ تا ۹۲

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

تغییر اقلیم حاصل از فعالیت‌های انسانی با چنان سرعتی رخ می‌دهد که بسیاری از گونه‌ها قادر به سازگاری با آن نخواهند بود. در واقع پیش‌بینی می‌شود که در پایان این قرن، بخش بزرگی از تنوع زیستی جهانی از دست برود (Bellard et al., 2012). تغییرات جهانی آب و هوا منجر به تغییر دامنهٔ رشد گیاهان شده است (Diaz-Varela et al., 2010; Feeley et al., 2011; Ernakovich et al., 2014; Sproull et al., 2015). چنین تغییرات پرسرعتی باعث تغییرات بعدی ساختار و کل بوم‌سازگان‌های زمین شده و به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر عملکردهای مختلف بوم‌سازگان از جنبه‌های بوم‌شناختی، رفاه انسان و رشد اقتصادی اثر می‌گذارند (Cheaib et al., 2012). بنابراین، پیش‌بینی اثر تغییر آب و هوا بر توزیع گونه‌های گیاهی به یک زمینهٔ اصلی پژوهش برای اقدامات و برنامه‌های حفاظت از آن تبدیل شده است (Wiens et al., 2009).

تغییرات دامنهٔ پراکنش گیاهان بیش‌تر با مدل‌های توزیع گونه (SDM)[1] پیش‌بینی می‌شود (Guisan and Thuiller, 2005). مدل‌های توزیع جغرافیایی گونه‌های گیاهی، دستهٔ مهمی از مدل‌های بوم‌شناختی به شمار می‌روند که برای بررسی پراکنش گونه‌ای استفاده می‌شوند و بر تئوری آشیان بوم‌شناختی[2] (Vandermeer, 1972) استوار است. به این معنی هر عامل محیطی تأثیرگذار بر روی پراکنش گونه‌های گیاهی دارای حداقل، حداکثر و مقدار بهینه است که در ترکیب با عوامل دیگر قلمرو، گونه‌ها را از هم جدا و یک آشیان بوم‌شناختی را تشکیل می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر گونه‌ها در طی گرادیان‌های محیطی مختلفی پراکنش یافته‌اند که با شناخت این گرادیان‌ها می‌توان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش آن‌ها را مشخص و رویشگاه آن‌ها را مدل‌سازی کرد. در این مورد محققان دو نوع آشیان بوم‌شناختی را تعیین کرده‌اند که عبارت‌اند از: آشیان عملکردی و آشیان واقعی. آشیان عملکردی محدوده‌ای از محیط یا مجموعه شرایطی را شامل می‌شود که یک‌گونه به‌صورت پتانسیل در آن‌جا می‌تواند حضور یابد و تولیدمثل کند، ولی آشیان واقعی محدوده‌ای از محیط را شامل می‌شود که گونه بعد از کنش متقابل با دیگرگونه‌ها (مثل علفخواری و رقابت) در حال حاضر به خود اختصاص داده است (Polechová and Storch, 2008). ساختار پوشش گیاهی و ترکیب آن به‌طور پیوسته در طول گرادیان‌های محیطی تغییر می‌کند. اگرچه شواهدی وجود دارد که گیاهان زیادی منحنی پاسخ غیرمتقارن نسبت به گرادیان محیطی نشان داده‌اند (Oksanen et al., 2002) ولی مدل‌های تئوری بر این فرض استوارند که گونه‌ها واکنش زنگوله‌ای شکل متقارن نشان می‌دهند؛ مخصوصاً زمانی که گرادیان محیطی طولانی است (Gauch and Whittaker, 1972). از این‌رو مدل‌های پراکنش گونه‌ای زیادی، به‌منظور بررسی پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری و شناسایی عوامل محیطی بر روی پراکنش آن‌ها ارائه شده است. به‌طورکلی در بعضی از این مدل‌ها تنها از داده‌های حضور استفاده و در بعضی دیگر از داده‌های حضور و عدم حضور با هم استفاده می‌شود.

مهم‌ترین مدل‌هایی که از داده‌های حضور برای تعیین پراکنش گونه‌ای استفاده شده است مدل تحلیل عوامل آشیان بوم‌شناختی (Hirzel and Guisan, 2002) و روش الگوریتم ژنتیک (Stockwell and Peters, 1999) و حداکثر آنتروپی (Phillips et al., 2006) بوده است. Zarrabi et al. (2017) با مدل‌سازی رویشگاه *Pistacia vera* در منطقهٔ سرخس دریافتند که خصوصیات خاک، مانند درصد سنگ‌ریزه، میزان نسبت جذب سطحی سدیم تبادلی، مقدار سدیم خاک، درصد گچ، عوامل اقلیمی (دما و بارندگی) و هم‌چنین ارتفاع از سطح دریا، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش رویشگاه این گونه هستند. Haidarian Aghakhani et al. (2017) در بررسی پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونهٔ بادامشک در استان چهار محال بختیاری به این نتیجه رسیدند که عوامل اقلیمی از جمله میانگین دمای خشک‌ترین فصل و بارندگی سالیانه، حدود ۸۵ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نموده است. هم‌چنین Piri Sahragard et al. (2020) در پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی آینده بر توزیع گونهٔ بادامشک دریافتند که متغیرهای Bio۳، Bio۱۵ و Bio۴ بیش‌ترین تأثیر را در پیش‌بینی پتانسیل گونهٔ بادامک یا بادامشک *Amygdalus scoparia* داشتند. از جمله پژوهش‌های انجام شده بر روی مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی در ایران، می‌توان به Almasieh et al. (2020)، Arazi and Sarhangzadeh (2020)، Zarkami et al. (2021)، Momeni Demaneh (2021)، Momeni Demaneh (2021) اشاره نمود.

وجود انواع متعدد مدل‌های توزیع گونه‌ای، پژوهشگران را برای انتخاب مدل مناسب با مشکل مواجه نموده است (Heikkinen et al., 2006)، علاوه‌بر آن، پژوهش‌های سال‌های اخیر نشان‌دهندهٔ اختلاف بسیار زیاد بین مدل‌های مختلف است که همین امر انتخاب مدل مناسب را به‌ویژه در زمانی‌که این مدل‌ها به‌منظور پیش‌بینی آشیان بوم‌شناختی این گونه‌ها تحت سناریوهای اقلیمی استفاده شود را با مشکل مواجه می‌سازد (Pearson et al., 2006). Biomod یک بستهٔ رایانه‌ای به‌منظور اجماع پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های توزیع جغرافیایی گونه‌ها

[1] Species Distribution Models
[2] Ecological Niche

است که برای اولین بار چندین مدل را در اکولوژی به‌کار گرفته است؛ به عبارت دیگر، اکولوژیست‌ها رابطهٔ بین حضور یا فراوانی گونه‌ها و متغیرهای محیطی تعیین شده را توسط الگوریتم به‌کار رفته و فرضیات زیربنایی آن توصیف نمودند (Thuiller, 2014). Biomod مانند کتابخانه‌ای در برنامه R است که توانایی مقایسه و ترکیب مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و ترکیب R با سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد (Thuiller et al., 2009). Zhang et al. (2021) در مطالعه‌ای در محدودهٔ رودخانهٔ زرد در چین اقدام به پیش‌بینی پراکنش گونهٔ *Oxytropis ochrocephala* با مدل‌های اجماعی متشکل از شش مدل از بایومد کردند و نتیجه گرفتند که Bio۱ و Bio۱۲ با اهمیت تجمعی ۶۰/۴۵ درصد مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش این گونهٔ گیاهی بوده و احتمال توزیع آن تا سال ۲۰۷۰ در حال افزایش است. در پژوهشی دیگر Kumari et al. (2022) بر مبنای رویکرد اجماعی Biomod اقدام به تهیه نقشهٔ مطلوبیت زیستگاه و پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر تغییر آشیان بوم‌شناختی گونهٔ *Valeriana wallichii* کردند؛ در این پژوهش مقادیر AUC و TSS بالای ۰/۹۰ است که نشان‌دهندهٔ این است که مدل به بهترین نحو اجرا شده است، در بین عوامل زیست اقلیمی نیز Bio۱۷، Bio۱ و Bio۱۲ بیش‌ترین تأثیر را بر پراکنش این گونه داشتند.

درخت پسته با نام علمی *Pistacia vera* L. متعلق به خانواده Anacardiaceae است. پراکنش جهانی آن شامل جنوب شرق و مرکز ایران، شمال افغانستان، ترکمنستان، ازبکستان، تاجیکستان، بخارا، تیان–شان و نواحی مدیترانه است. پسته در ایران به‌صورت طبیعی فقط در شمال خراسان می‌روید، اما در مناطق وسیعی در استان‌های کرمان، رفسنجان، سیرجان، زرند و کوهبنان پراکنش دارد (Mozzafarian, 2012).

از نظر بوم‌شناختی گونهٔ پستهٔ وحشی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل بازدارنده و تخریب اراضی در کوهستان‌های مرتفع مناطق خشک و نیمه‌خشک در بسیاری از مناطق جغرافیایی و بوم‌شناختی مطرح است. از طرفی اهمیت اقتصادی و جنبهٔ درآمدزایی گونهٔ پستهٔ وحشی نیز برای بهره‌برداران محلی حائز اهمیت است. در سال‌های اخیر بهره‌برداری‌ها و فشارهای متعددی که به‌وسیلهٔ عوامل انسانی و طبیعی بر این گونه وارد آمده است؛ شامل: برداشت بی‌رویهٔ محصولات این گونه، بریدن سرشاخه‌های درخت برای استفاده به‌عنوان سوخت، چرای بیش‌از حد سرشاخه‌ها توسط دام‌های اهلی، تغییرات آب و هوایی، خشک‌سالی، آتش‌سوزی و هجوم آفات موجب به خطر افتادن زیستگاه این گونه شده است (Golestaneh et al., 2012) به‌طوری‌که طبق اطلاعات به‌دست آمده هم‌اکنون این گونه در طبقه‌بندی IUCN در ردیف گونه‌های در خطر انقراض[1] یا گونه‌هایی که با احتمال بالایی از ریسک انقراض در طبیعت روبه‌رو است قرارگرفته است (IUCN[2]). نظر به اهمیت گونهٔ مذکور از منظر بوم‌شناختی و اقتصادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و با توجه به آسیب‌های وارده به زیستگاه گونهٔ پستهٔ وحشی این پژوهش با هدف تعیین گسترهٔ رشد (نقاط حضور ۱۰۰ درصد) با قابلیت بهره‌برداری در استان خراسان رضوی در زمان حال و هم‌چنین پراکنش آن با مدل گردش عمومی MIROC-ES2L در سال ۲۱۰۰–۲۰۸۰ تحت سناریوهای اقلیمی ۲/۶ –۱ SSP و ۸/۵ –SSP۵ صورت پذیرفت. در نهایت عوامل زیست اقلیمی و محیطی مؤثر بر پیش‌بینی توزیع مکانی گونهٔ پستهٔ وحشی و تعیین آشیان بوم‌شناختی حال حاضر و آینده آن انجام شد. بر این اساس می‌توان اذعان نمود که این پژوهش اولین بررسی پراکنش جغرافیایی گونهٔ پستهٔ وحشی با استفاده از بسته ۲ Biomod و پیش‌بینی رویشگاه آن تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران قلمداد شود. از نتایج پژوهش پیش‌رو می‌توان در برنامه‌ریزی‌های اصلاح، توسعه و حفاظت گونهٔ پستهٔ وحشی در برابر آسیب‌های انسانی و طبیعی در جهت مدیریت زیستگاه‌های این گونهٔ ارزشمند استفاده کرد.

۲– مواد و روش‌ها

۲–۱– منطقهٔ مورد مطالعه

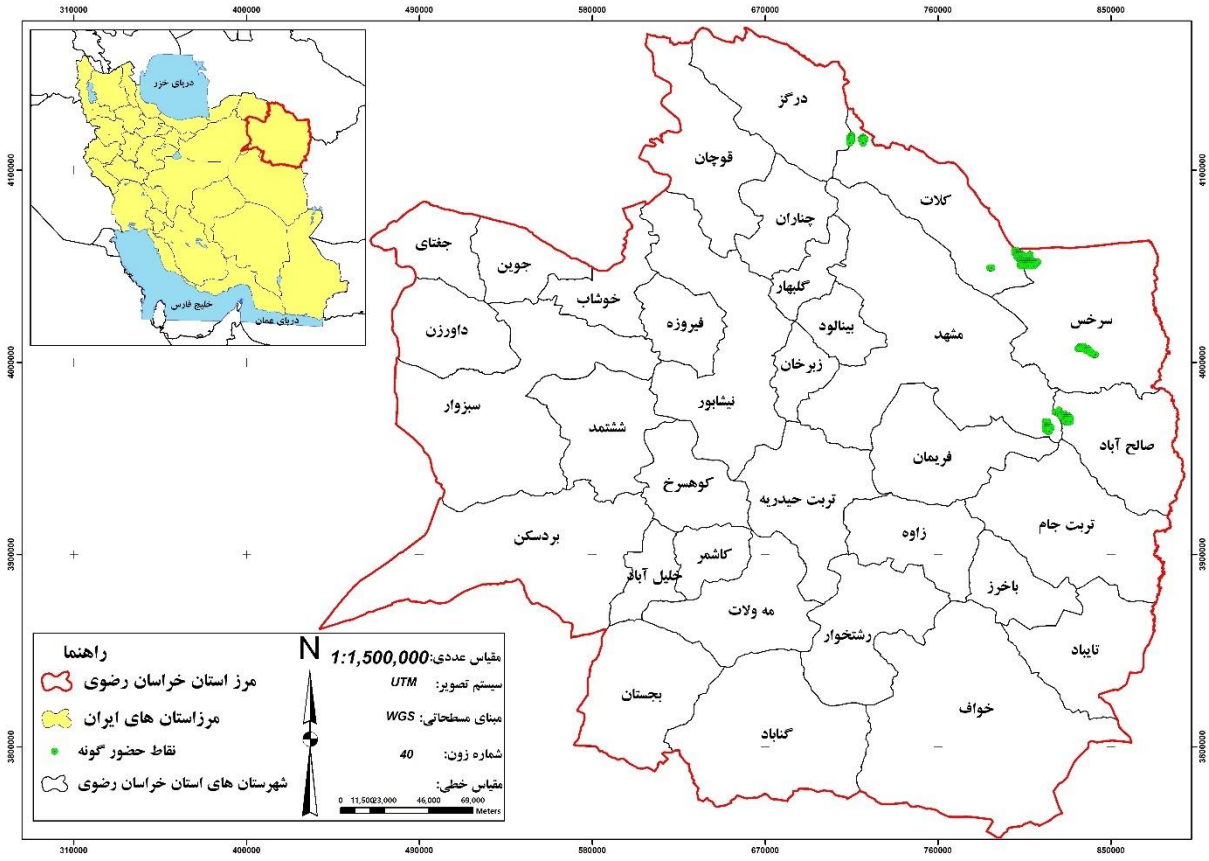
پژوهش پیش‌رو در جغرافیای استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران با مساحتی به وسعت ۱۱۶۴۸۶ کیلومتر مربع انجام شده است. موقعیت جغرافیایی آن نسبت به سیستم متریک (UTM) بین طول‌های ۳۹۸۳۷۲ تا ۸۸۸۳۴۱ و عرض ۳۷۵۲۶۵۴ تا ۴۲۳۷۰۹۱ قرار گرفته است (شکل ۱). منطقهٔ مورد مطالعه در ناحیهٔ رویشی ایرانی–تورانی واقع شده و به سبب وسعت زیاد از نظر شرایط طبیعی بسیار متنوع و هر یک از نواحی مختلف آن دارای ویژگی‌های بوم‌شناختی خاصی است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، کل استان دارای اقلیم خشک سرد و در برخی نقاط دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. به‌طورکلی اقلیم استان خراسان رضوی خشک و نیمه‌خشک سرد است. متوسط بارش استان طی دورهٔ آماری ۱۳۹۱–۱۳۶۸، ۲۰۹/۸ میلی‌متر محاسبه شده که توزیع بارش استان یکنواخت نبوده و مقدار آن از شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد. کم‌ترین میزان بارش ۱۱۶/۲ و بیش‌ترین مقدار ۳۱۲/۸ میلی‌متر برآورد شده است. از نظر دمایی نیز حداقل دمای استان ۱۲/۲ و حداکثر آن در طی دورهٔ آماری

[1] Endangered
[2] WWW.IUCN.ORG

۱۸/۲ و میانگین دمای سالیانه استان نیز ۱۵/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است (Esmaili et al., 2011).

۲-۲- تعیین نقاط حضور گونه

داده‌های مناطق حضور بر اساس مستندات نقشه‌های ممیزی، تحقیقات محلی، ادارهٔ منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و عوارض موجود در نقشه مانند راه‌ها، خطالرأس‌ها و رودخانه‌ها تهیه شد. پس از مراجعه به عرصه با پیمایش در منطقه، رویشگاه‌های مفید و قابل بهره‌برداری (مناطقی به‌عنوان وقوع در نظر گرفته شوند که علاوه‌بر غالبیت گونه حداقل یک محدودهٔ به مساحت ۲۵۰ مترمربع را تحت پوشش قرار دهند) (نقاط حضور) و مناطق غیرمفید (عدم حضور) مشخص شد. سپس نمونه‌برداری نقاط حضور، در بازدیدهای میدانی طی دورهٔ زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۹ از مناطق معرفی شده با استفاده از پلات‌های ۱۰۰۰ مترمربعی (دایره‌ای به شعاع ۱۷/۸۵ متر) صورت و در مجموع ۱۲۹ نقطهٔ حضور از ۸ منطقه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System) ثبت شد (شکل ۱). نقاط حضور در نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری پیاده‌سازی شد. سپس به‌منظور جلوگیری از خودهمبستگی مکانی و کاهش خطای نمونه‌برداری محدوده‌های مفید، در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به شبکه‌های ۱۰۰۰ × ۱۰۰۰ متر تبدیل (Shrestha et al., 2018) و از هر سلول یک نقطهٔ حضور به‌دست آمد که پس از ورود نقاط به نرم‌افزار، در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار گرفت.



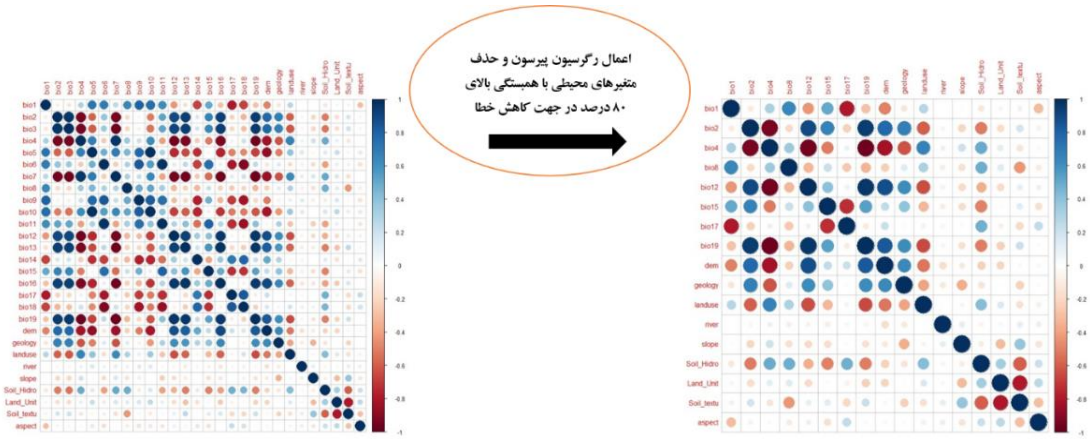
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه و پراکنش نقاط حضور گونه در استان خراسان رضوی و ایران

Figure 1- Location of the studied area and the distribution of species presence points in Khorasan Razavi Province, Iran

۲-۳- تعیین متغیرهای محیطی

با بررسی مطالعات انجام شده و با در نظر داشتن نوع گونهٔ مورد بررسی و منابع اطلاعاتی پایه موجود در سطح استان تعداد ۲۸ متغیر مهم و مؤثر در پراکنش گونهٔ پستهٔ وحشی شناسایی و اقدام به تهیهٔ لایه‌های این متغیرها از منابع مختلف شد. با استفاده از اطلاعات موجود، ۲۸ متغیر محیطی شامل ۴ متغیر فیزیوگرافی و ۱۹ متغیر اقلیمی و ۴ متغیر خاکشناسی و ۱ متغیر زمین‌شناسی برای تولید مدل در زمان حال و آینده در نظر گرفته شد. در این مطالعه، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب و جهت شیب، از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ «سازمان نقشه‌برداری ایران» تهیه شد. متغیرهای اقلیمی از بانک داده WorldClim با مقیاس دو و نیم دقیقه تهیه شدند (www.worldclim.org) که بر اساس

درون‌یابی داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ حاصل‌شده است. نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی ایران و نقشه خاک‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی استفاده شد. از آن‌جایی که همهٔ لایه‌های اطلاعات ورودی مدل باید زمین مرجع، سیستم مختصات و مقیاس یکسان داشته باشند، آماده‌سازی و پردازش اولیهٔ لایه‌های اطلاعاتی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Idrisi Selva و هم‌چنین آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی جدول ۱ و همسان‌سازی لایه‌ها با اندازه پیکسل ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر در نرم‌افزار Idrisi Selva با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (۰/۸) انجام شد. در این راستا متغیرهایی که دارای همبستگی کم‌تر از ۸۰ درصد بودند (Zhang et al., 2021)، انتخاب شدند (شکل ۲) و در نهایت ۱۷ متغیر زیستگاهی شامل عوامل توپوگرافی (چهار مورد)، عوامل اقلیمی (هشت مورد) عوامل خاک‌شناسی (چهار مورد) و عوامل زمین‌شناسی (یک مورد) به‌عنوان متغیرهای مدل‌سازی برگزیده شدند و با فرمت ascii به همراه نقاط حضور گونهٔ مورد نظر برای انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار R فراخوانی شد. سپس با استفاده از مدل‌های بسته بایومد ۲ که شامل مدل‌های GLM، GBM، CTA، ANN، SRE، FDA، MARS، RF و MaxEnt در تعیین روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی در مراتع استان خراسان رضوی در زمان حال و هم‌چنین پراکنش آیندهٔ این گونه در سال ۲۱۰۰ – ۲۰۸۰ تحت سناریوهای اقلیمی SSP۱– ۲/۶ و SSP۵– ۸/۵ و مدل گردش عمومی MIROC-ES2L (Akihiko and Hajima, 2020) پیش‌بینی شد. ارزیابی صحت مدل‌ها با استفاده از مقادیر شاخص‌های KAPPA، TSS و ROC که شاخص‌های مطرح و پرکاربرد در مورد تعیین و شناسایی مناطق هم‌پتانسیل هستند مورد تحلیل قرار گرفت. هم‌چنین آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی توسط نرم‌افزار Idrisi Selva صورت گرفته است (جدول ۱).



شکل ۲- اعمال رگرسیون پیرسون و انتخاب متغیرهای محیطی در جهت مدل‌سازی

Figure 2- Applying Pearson regression and selecting environmental variables for modeling

جدول ۱- فهرست متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه گونهٔ پستهٔ وحشی

Table 1- List of predictive variables used in *P. vera* habitat modeling

ردیف	نمایه متغیر	توصیف متغیر	ردیف	نمایه متغیر	توصیف متغیر
1	Bio1	میانگین دمای سالیانه	13	Bio19	جمع بارندگی سردترین سه ماه متوالی سال
2	Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه	14	Dem	مدل رقومی ارتفاع
3	Bio4	تغییرات فصلی دما	15	Slop	درصد شیب
4	8Bio	میانگین دمای پرباری‌ترین سه ماه متوالی سال	16	River	آبراهه
5	Bio12	جمع بارندگی سالیانه	17	Aspect	جهت شیب (8 طبقه جهت شیب + مسطح)
6	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)			
7	Bio17	جمع بارندگی کم بارش‌ترین سه ماه متوالی سال			
8	Soil Hidro	گروه‌های هیدرولوژیک خاک			شامل طبقات چهارگانه گروه‌های هیدرولوژیک A، B، C و D
9	Land unit	اجزاء واحد اراضی			شامل 47 طبقه
10	Soil texture	بافت خاک			شامل 5 طبقه نوع بافت خاک
11	Landuse	کاربری اراضی			شامل 26 طبقه کاربری
12	Geology	زمین‌شناسی			شامل 626 طبقه سازندهای زمین‌شناسی

۲-۴- مدل‌سازی پراکنش گونه

در پژوهش حاضر، برای مدل‌سازی پراکنش گونهٔ پستهٔ وحشی از نه الگوریتم موجود در بستهٔ نرم‌افزاری بایومد (Thuiller et al., 2009) (جدول ۲) و هم‌چنین به‌منظور تولید نقاط عدم حضور از بستهٔ نرم‌افزاری بایومد استفاده شد. نقاط عدم حضور در نرم‌افزار به‌صورت تصادفی و به تعداد ۲۵۰ نقطهٔ عدم حضور و تعداد نقاط حضور هم ۱۲۹ نقطه است. در روند مدل‌سازی از ۷۰ درصد نقاط حضور گونه برای تولید مدل‌ها و از ۳۰ درصد نقاط حضور به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها استفاده شد. هم‌چنین برای افزایش دقت مدل‌سازی، تعداد تکرارها ۱۰ در نظر گرفته شد.

صحت مدل‌ها با توجّه به انواع مختلف مدل‌ها با استفاده از سه ضریب آماری محاسبه شد. روش اول بررسی میزان ROC (Receiver Operating Characteristic) است. نمودار مشخصهٔ عملکرد (ROC) روشی گرافیکی است که توانایی یک مدل برای پیش‌بینی نقاط حضور و عدم حضور گونه‌ها را بر اساس متغیّرهای محیطی مرتبط ارزیابی می‌کند (Fielding and Bell, 1997). روش دوم، محاسبهٔ میزان TSS (True Skill Statistic) است این روش زمانی کاربرد دارد که از مدل‌های حضور و عدم حضور استفاده می‌شود. TSS را می‌توان به‌عنوان شاهدی برای تفسیر پدیده‌های بوم‌شناختی واقعی عنوان کرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که میزان ROC با میزان TSS همبستگی بالایی دارد؛ بنابراین، در مطالعاتی که نتایج آن به‌صورت نقشهٔ حضور و عدم حضور است، TSS می‌تواند جایگزین مناسبی برای ROC باشد (Walther et al., 2002).

کاپای کوهن (Cohens Kappa) قرارداد را بین دو ارزیاب که هر کدام N مورد را در C طبقهٔ متقابلاً انحصاری مرتب کرده‌اند اندازه‌گیری می‌کند. اولین استفاده از آمار شبیه به کاپا مربوط به گالتون و اسمیتون است (Smeeton, 1985; Galton, 1892). مقادیر ROC، KAPPA و TSS کم‌تر از ۰/۵ نشان‌دهندهٔ عملکرد مدل‌سازی نامناسب، بین صفر تا ۶/۵ تناسب خیلی ضعیف، بین ۰/۷-۰/۶ تناسب ضعیف، بین صفر تا ۸/۷ تناسب متوسط، بین ۰/۹-۰/۸ تناسب خوب و ۱-۰/۹ نشان‌گر تناسب بالا (مطلوب) مدل‌سازی است (Yi et al., 2016; Swets, 1988). در ادامه برای دست‌یابی به یک نگرش جغرافیایی از مناطقی که دارای شرایط اقلیمی و محیطی مناسب برای گونهٔ مورد مطالعه هستند، نقشه‌های زیستگاه مطلوب در زمان حال و آینده به‌صورت گسسته و پیوسته به تصویر کشیده شده است (شکل ۵). نقشهٔ زیستگاه مطلوب به‌دست آمده به‌وسیله مدل‌های مطلوبیت زیستگاه از صفر تا ۱۰۰۰ بیان می‌شوند. صفر برای کم‌ترین احتمال و ۱۰۰۰ برای بیش‌ترین احتمال است. برای درک بهتر پراکنش، نقشه در نرم‌افزار ArcGIS10.5 با استفاده از روش Natural Breaks یا الگوریتم Jenks طبقه‌بندی و به چهار طبقه، شامل زیستگاه‌های نامطلوب بین صفر تا ۲۵۰، زیستگاه با مطلوبیت کم بین ۲۵۰ تا ۵۰۰، زیستگاه با مطلوبیت متوسط بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ و زیستگاه‌های مطلوب بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ تهیه شد (جدول ۴).

جدول ۲- فهرست مدل‌های استفاده شده از بسته نرم‌افزاری بایومد ۲
Table 2- List of used models from Biomod 2 software package

مخفف (Abbreviation)	Full name	نام کامل
GLM	Generalized Liner Model	مدل تعمیم‌یافته خطی
GBM	Generalized Boosting Method	مدل تقویت‌شده تعمیم‌یافته
CTA	Classification Tree Analysis	تحلیل درخت طبقه‌بندی
ANN	Artificial Neural Network	شبکهٔ عصبی مصنوعی
SRE	Surface Range Envelope	پاکت دامنه سطحی
FDA	Flexible Denotative Analysis	تحلیل تفکیکی انعطاف‌پذیر
MARS	Adaptive Regression Spline Multivariate	مدل رگرسیون سازشی چندمتغیره
RF	Random Forest	جنگل تصادفی
MaxEnt	Maximum entropy model	حداکثر آنتروپی

۳- نتایج و بحث

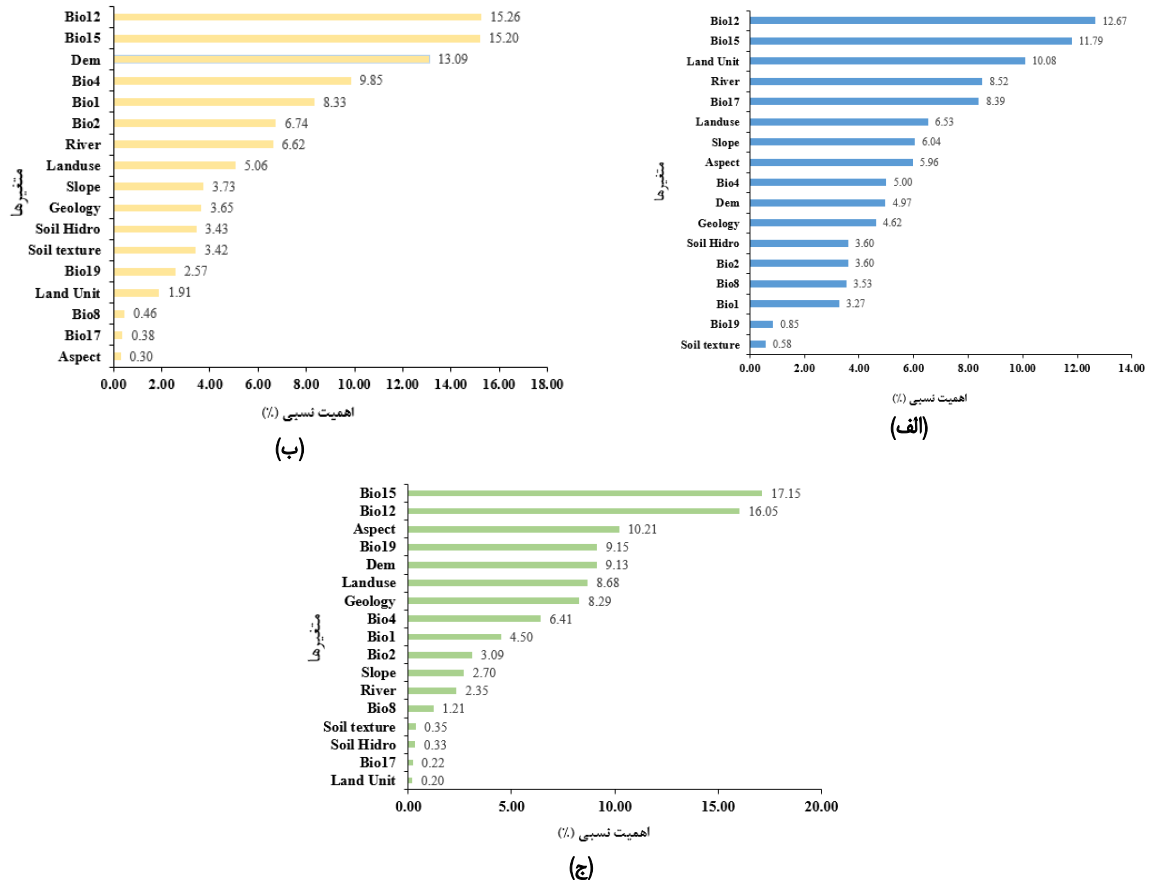
مقادیر شاخص KAPPA، TSS و ROC که شاخص‌های مطرح و پرکاربرد در مورد تعیین و شناسایی مناطق هم‌پتانسیل می‌باشند در جدول ۳ ارائه شده است که روند مدل‌سازی در اکثر مدل‌های به‌کار رفته در این پژوهش، مدل‌ها در سطح تناسب بالا(مطلوب) و خوب اجرا شده‌اند. مدل SAR در زمان حال و آینده، سطح متوسط مدل‌سازی را انجام داده است که به‌عنوان ضعیف‌ترین مدل نیز شناخته شد. بررسی مقادیر هر سه شاخص ارزیابی صحت برای مدل‌سازی در زمان حال نشان داد که؛ مدل جنگل تصادفی (RF) با مقادیر ۱۰۰ درصد برای پارامترهای

KAPPA، TSS و ROC بیش‌ترین میزان صحت را داشته‌اند. در زمان آینده نیز با سناریوی ۲/۶ و ۸/۵ مدل جنگل تصادفی (RF) با صحت ۰/۹۸۲، ۰/۹۸۹ و ۰/۹۹۹ برای شاخص‌های مذکور، بیش‌ترین میزان صحت را داشته است. بنابراین، با توجه به نتایج و مقادیر جدول ۳، مدل جنگل تصادفی به‌عنوان مدل برگزیده، مبنای محاسبات بعدی قرار خواهد گرفت. بالاترین مقادیر صحت و متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه در جدول ۳ و شکل ۳ مشخص‌شده است.

جدول ۳- ارزیابی صحت در مدل‌سازی مکان‌های مستعد پسته وحشی

Table 3- Assessing accuracy in modeling *P. vera* susceptible sites

گونه	پارامتر صحت	GLM	GBM	CTA	ANN	SRE	FDA	MARS	RF	MAXENT. Phillips
مدل‌سازی زمان حال	KAPPA	0.944	0.982	0.833	0.964	0.691	0.964	0.964	1	0.893
	TSS	0.938	0.989	0.86	0.978	0.615	0.978	0.978	1	0.919
	ROC	0.969	0.997	0.943	0.992	0.808	0.997	0.998	1	0.953
زمان آینده با سناریو 2.6	KAPPA	0.925	0.981	0.864	0.963	0.762	0.981	0.945	0.982	0.859
	TSS	0.912	0.974	0.874	0.963	0.707	0.988	0.952	0.989	0.897
	ROC	0.956	0.997	0.957	0.997	0.853	0.998	0.983	0.999	0.948
زمان آینده با سناریو 8.5	KAPPA	0.928	0.981	0.928	0.980	0.762	0.964	0.926	0.982	0.928
	TSS	0.941	0.974	0.941	0.985	0.707	0.978	0.933	0.989	0.941
	ROC	0.971	0.998	0.967	0.993	0.853	0.993	0.982	0.999	0.97



شکل ۳- درصد اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌سازی مکان‌های مستعد پستهٔ وحشی: الف) در زمان حال حاضر ب) در زمان آینده با سناریوی اقلیمی ۲/۶ و ج) در زمان آینده با سناریوی اقلیمی ۸/۵

Figure 3- The percentage of relative importance of environmental variables in the modeling of *P. vera* prone locations: (a) In the present time (b) In the future time with climate scenario 2/6, (c) In the future time with climate scenario 8/5

درصد اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌سازی پراکنش مناطق مستعد پستهٔ وحشی نشان می‌دهد که بیش‌ترین تأثیر عوامل محیطی در زمان حال مربوط به جمع بارش سالیانه (Bio۱۲)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio۱۵) و اجزاء واحد اراضی

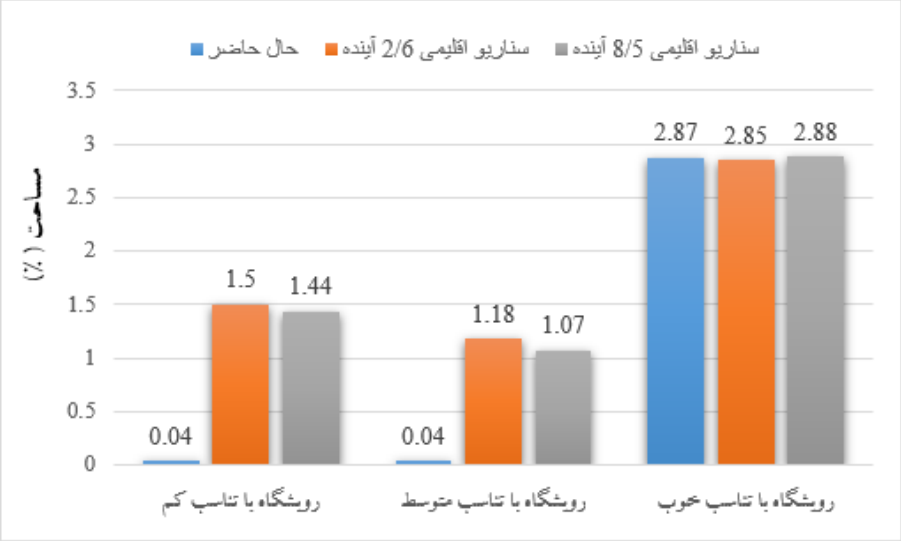
(Land Unit) در توزیع جغرافیایی گونهٔ پستهٔ وحشی داشتند. در زمان آینده نیز تحت سناریو اقلیمی ۲/۶ تأثیرگذارترین عوامل شامل جمع بارش سالیانه (Bio۱۲)، تغییرات فصلی بارندگی (۱۵ Bio) و مدل رقومی ارتفاع (Dem) و در سناریوی اقلیمی ۸/۵ مهم‌ترین عوامل شامل تغییرات فصلی بارندگی (Bio۱۵)، جمع بارش سالیانه (Bio۱۲) و جهت شیب (Aspect) بودند. بررسی اهمیت نسبی تمام عوامل محیطی نشان‌دهندهٔ این بود که عوامل اقلیمی اهمیت قابل‌توجهی نسبت به عوامل فیزیوگرافی در پراکنش جغرافیایی گونهٔ پستهٔ وحشی در استان خراسان رضوی دارند (شکل ۳).

با توجه به جدول ۴ نتایج این بخش نشان داد در مدل RF در زمان حال ۳۳۸۴ کیلومتر مربع معادل ۲/۹۱ درصد و در سناریوی اقلیمی ۲/۶ مساحت ۴۶۹۶ کیلومتر مربع معادل ۴/۰۳ درصد و در سناریوی اقلیمی ۸/۵ مساحت ۴۶۱۲ کیلومتر مربع معادل ۳/۹۵ درصد از مناطق مورد بررسی پتانسیل متوسط تا خوب برای رویش و بهره‌برداری از گونهٔ پستهٔ وحشی داشته‌اند. اندکی بیش‌تر از ۹۷/۰۶ درصد از مساحت استان خراسان رضوی پتانسیل قابل‌توجهی برای رویش گونهٔ پستهٔ وحشی نداشته‌اند. بررسی نتایج نشان داد که ۲/۸۷ درصد مساحتی از استان که هم‌اکنون دارای پتانسیل خوب برای رشد گونهٔ پستهٔ وحشی است در زمان آینده در سناریوهای اقلیمی ۲/۶ و ۸/۵ تقریباً برابر هستند. در مجموع با بررسی خروجی‌های مدل برگزیدهٔ جنگل تصادفی و مقایسهٔ مساحت‌های مستعد رویش گونهٔ پستهٔ وحشی در زمان حال و سناریوهای اقلیمی آینده می‌توان اظهار داشت که روند کاهشی برای رویشگاه ثابت در سطح استان قابل انتظار است (شکل ۴). منحنی‌های عکس‌العمل پاسخ ارتباط عوامل اقلیمی و خاک‌شناسی و احتمال وقوع گونه را نشان می‌دهند. این نمودارها رویشگاه ترجیحی و تحمل زیستی گونه را به معرض نمایش قرار می‌دهند (Ardestani et al., 2015). در شکل ۵ نمودارهای نسبت به مهم‌ترین متغیرهای محیطی ورودی در مدل RF ترسیم شده است.

جدول ۴- مساحت و درصد مناطق مستعد پستهٔ وحشی در مدل‌سازی استان خراسان رضوی

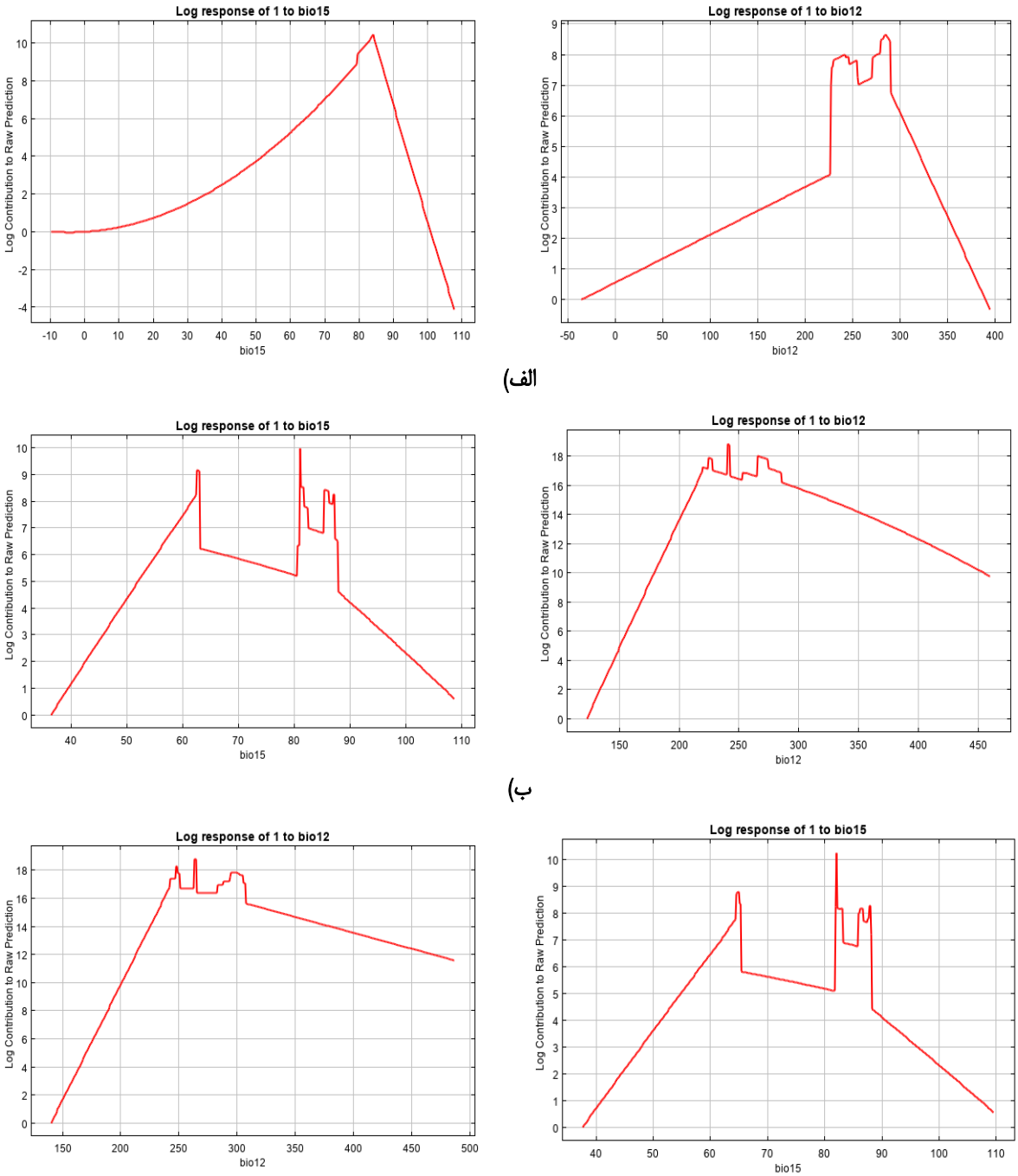
Table 4- The area and percentage of *P. vera* prone areas in the modeling of Razavi Khorasan province

رویشگاه	مدل برگزیده RF					
	مساحت مناطق پیش‌بینی‌شده در زمان حال و آینده (درصد)			مساحت مناطق پیش‌بینی‌شده در زمان حال و آینده (کیلومترمربع)		
	سناریو اقلیمی 8.5 آینده	سناریو اقلیمی 2.6 آینده	حال حاضر	سناریو اقلیمی 8.5 آینده	سناریو اقلیمی 2.6 آینده	حال حاضر
رویشگاه نامناسب	94.60	94.47	97.06	110198	110039	113058
رویشگاه با تناسب کم	1.44	1.5	0.04	1677	1751	44
رویشگاه با تناسب متوسط	1.07	1.18	0.04	1252	1374	46
رویشگاه با تناسب خوب	2.88	2.85	2.87	3360	3321	3338



شکل ۴- نمودار روند تغییرات مساحت مناطق مستعد رویش گونهٔ پستهٔ وحشی طی زمان حال و سناریوهای مختلف اقلیمی

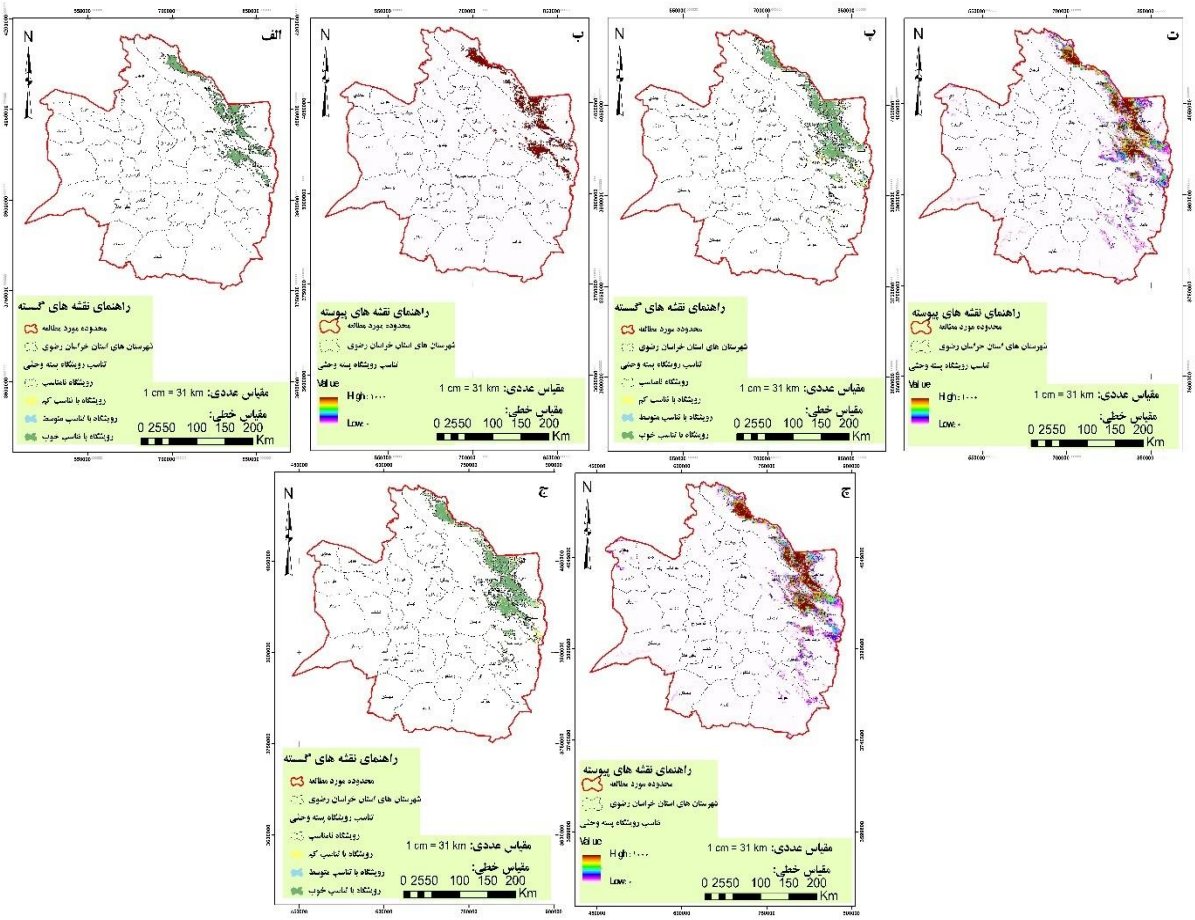
Figure 4- Chart of the changes in the area of areas susceptible to the growth of *P. vera* during the present time and different climate scenarios



شکل ۵- منحنی‌های عکس‌العمل متغیرهای مؤثر بر وقوع گونهٔ پستهٔ وحشی در استان خراسان رضوی: الف) زمان حال حاضر، ب) زمان آینده سناریوی اقلیمی ۲/۶ و ج) زمان آیندهٔ سناریوی اقلیمی ۸/۵

Figure 5 - Response curves of variables affecting the occurrence of *P. vera* species in Razavi Khorasan province: (a) in the present time (b), in the future time with climate scenario 2/6, (c) in the future time with climate scenario 8/5

بنا بر نتایج پژوهش حاضر، توانایی مدل‌های ماشین‌بردار برای پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوهٔ گونهٔ پستهٔ وحشی بر اساس مقادیر شاخص‌های صحت KAPPA، TSS و ROC در سطح خیلی خوب ارزیابی شده و می‌تواند برای آگاهی از ویژگی‌های محیطی رویشگاه آن کاربرد مؤثری داشته باشد. این نتیجه با توجه به این‌که مدل‌های ماشین‌بردار پرکاربردترین مدل در مطالعات توزیع گونه‌ای است (Golestaneh et al., 2012) دور از انتظار نبود اما با توجه به ویژگی‌های خاص هر گونهٔ گیاهی و عدم مطالعهٔ توزیع گونه‌ای پستهٔ وحشی ضرورت بررسی آن جدی بود.



شکل ۶- نقشه مطلوبیت زیستگاهی گونهٔ پستهٔ وحشی در شرایط حاضر و آینده با مدل RF

Figure 6- Habitat suitability map of *P. vera* species in current and future conditions with RF model

بررسی‌ها بیانگر آن است که عوامل اقلیمی مهم که شامل بارندگی سالیانه و تغییرات فصلی بارندگی تنظیم کنندهٔ الگوهای مختلف و ویژگی‌های متفاوت پوشش گیاهی (توزیع، تنوع، تراکم، حضور، اشکوب‌بندی و...) در نواحی مختلف بودند (Kumari et al., 2022) حساسیت‌های پوشش گیاهی به تغییرات عوامل اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیش‌تر است و چرخه‌های زیستی و بقای گیاهان در این مناطق همبستگی زیادی با تغییرات این عوامل دارد (Helm et al., 2006; Flagmeier et al., 2014; Jarvie and Svenning, 2018). هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد در ارزیابی صحت مدل‌های مورد استفاده مدل RF با صحت بالای ۰/۹۵ به‌عنوان مدل برگزیده در این پژوهش مبنای محاسبات قرار گرفته است. Cheng et al. (2012) بیان کردند که مدل جنگل تصادفی یک روش کارآمد برای مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌هاست.

بررسی وضعیت تناسب زیستگاه گونهٔ پستهٔ وحشی در نقشه‌های خروجی حاصل از مدل RF نشان می‌دهد که غالب سطح استان خراسان رضوی فاقد قابلیت برای استقرار این گونهٔ درختی است و بیش‌ترین تمرکز رویشگاهی با تناسب خوب مربوط به مناطق کوهستانی در نوار شمال شرقی تا شرق که شامل شهرستان‌های درگز، کلات، صالح‌آباد و شرق و جنوب شرق مشهد است. در بررسی عوامل انتخاب شده در مدل‌سازی و با بررسی نمودارهای عکس‌العمل در زمان حال حاضر مشخص شد که بارش سالیانه (Biomod12)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و اجزاء واحد اراضی روی هم ۳۴/۵۴ درصد از حضور این گونه را در این منطقه توجیه می‌کنند که در حدود ۲/۸۷ درصد از سطح استان خراسان رضوی را به خود اختصاص داده است. در زمان حال حاضر گونهٔ پستهٔ وحشی بیش‌ترین حضور در زیستگاه با بارش سالیانه ۲۰۰–۲۸۵ میلی‌متر دارد و بیش از این میزان بارندگی با کاهش تناسب جهت استقرار گونه همراه بود؛ هم‌چنین ارتفاع ۸۰۰–۱۳۰۰ متر از سطح دریا و تغییرات بارندگی تا ۷/۸ میلی‌متر در بارش فصلی نیز تأثیر مثبتی بر مطلوبیت زیستگاه برای حضور پستهٔ وحشی داشت (شکل ۶). هم‌چنین بیش‌ترین مطلوبیت زیستگاه در تپه‌های کم ارتفاع تا نسبتا مرتفع با قلل مدور و بعضا مسطح، متشکل از سنگ‌های آهکی، دگرگونی، کنگلومرایی و ماسه سنگی شیل با شیب ۴۰ تا بیش از

۵۰ درصد و دارای خاک‌های کم عمق تا نسبتا عمیق سنگریزه‌دار مشاهده شد.

در بررسی وقوع گونهٔ پستهٔ وحشی در زیستگاه‌های آن در زمان آینده تحت سناریو اقلیمی ۲/۶ تأثیرگذارترین عوامل شامل بارش سالیانه (Bio12)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio15) و مدل رقومی ارتفاع (Dem) و در سناریوی اقلیمی ۸/۵ مهم‌ترین عوامل شامل بارش سالیانه (Bio15)، تغییرات فصلی بارندگی (Bio12) و جهت شیب (Aspect) بودند. همان‌طور که در نتایج این پژوهش روشن است چه در زمان حال حاضر و چه در سناریوهای اقلیمی آینده؛ عوامل مهم تأثیرگذار شامل بارش و تغییرات فصلی آن، و در نهایت مدل رقومی ارتفاع است. نتایج حاضر با پژوهش‌های Haidarian Aghakhani et al. (2017)، Zarrabi et al. (2017) و Piri Sahragard et al. (2020) که بیان کردند مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توزیع جغرافیایی گونهٔ بادامشک به‌ترتیب میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال (Bio9) و هم‌دمایی (Bio3) هستند، هم‌سو می‌باشند. نظر به این‌که مهم‌ترین عوامل توزیع گونه‌های گیاهی دو عامل اقلیمی مهم دما و بارش هستند (Sarhangzadeh, 2019) و عوامل حرارتی عامل محدودکننده محسوب می‌شوند؛ اما در منطقهٔ مورد بررسی پژوهش حاضر در خراسان رضوی با میانگین بارش ۲۰۹ میلی‌متر در سطح استان و عدم توزیع یکسان آن در نقاط مختلف و در نظر گرفتن این نکته که این استان از نظر اقلیمی در محدودهٔ اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد بنابراین از نظر بوم‌شناختی با محدودیت‌های حرارتی روبه‌رو نیست و فقط عوامل رطوبتی پراکنش آن را با محدودیت روبه‌رو می‌کند. به‌همین جهت مشاهده می‌شود که در هر سه حالت زمان حال و دو سناریوی زمان آینده عامل بارندگی فقط تأثیرگذار است.

پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده نشان می‌دهد که شرایط به سمت خشکی هوا و کاهش بارندگی‌ها و عدم توزیع یکنواخت آن‌ها پیش می‌رود؛ بنابراین مطابق نقشه‌های خروجی از مدل RF در سناریوی اقلیمی ۲/۵ و ۸/۵ وسعت مناطق رویشگاهی پستهٔ وحشی در استان خراسان رضوی در نقاط کم ارتفاع ثابت خواهد شد (شکل ۵). حضور گونهٔ پستهٔ وحشی در مناطق مرتفع می‌تواند ناشی از وجود رطوبت در نواحی با ارتفاع بالاتر باشد. پژوهشگران در مطالعات متعددی دریافتند که این گسترش گیاهان به سمت ارتفاعات و استقرار آن‌ها در نقاط مرتفع را نمونه‌ای از جابه‌جایی‌های گونه‌ها در اثر تغییر اقلیم در جهت ایجاد شرایط بهتر برای بقا ذکر نمودند (Walther et al., 2002). Thuiller (2014) نیز یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم و افزایش دما در آینده را جابه‌جایی محدودهٔ پراکنش جغرافیایی گونه‌های گیاهی دانست. وی اظهار کرد که افزایش دما باعث حرکت گونه‌های نیم‌کره شمالی به سمت ارتفاعات خواهد شد. شایان ذکر است که از نظر Thuiller (2014) تغییرات در بوم‌سازگان‌های مختلف متفاوت بوده و هر بوم‌سازگان باید با روش‌های مناسب خود بررسی شود. در همین زمینه Gholinejad et al. (2014) نیز بیان داشتند که با افزایش ارتفاع و کاهش درجهٔ حرارت پوشش گیاهی تنک می‌شود و گونه‌های بالشتکی و خاردار بیش‌تر می‌شود. اهمیت بالای مقدار و پراکنش بارندگی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک برای حیات همه گونه‌های گیاهی و جانوری به‌عنوان عاملی بسیار مهم در تعیین رویشگاه مورد تأکید قرار گرفته است که البته میزان اهمیت آن با تغییر مقیاس مطالعات ممکن است تغییر کند. لذا باید میزان اهمیت و نقش آن برای هرگونه مورد بررسی قرار گیرد. در این زمینه باید دقت داشت که هرگونه گیاهی با توجه به ویژگی‌های منطقهٔ رویش، نیازهای بوم‌شناختی و دامنهٔ بردباری با بعضی از ویژگی‌های محیطی رابطه برقرار می‌کند (Abdollahi and Naderi, 2012). بنابراین در تعمیم نتایج به‌دست آمده به مناطق مشابه بایستی جانب احتیاط را رعایت نمود. Khajeddin and Yeganeh (2010) معتقدند که عوامل مختلف بوم‌شناختی به‌ویژه پستی و بلندی و عوامل اقلیمی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بیش‌ترین اثر را بر پوشش گیاهی داشته و در نحوهٔ شکل‌گیری، توسعه و پایداری جوامع گیاهی تأثیر به‌سزایی دارند.

۴- نتیجه‌گیری

فعالیت‌های انسانی مخرب از جمله چرای دام و بهره‌برداری‌های غیراصولی از گونهٔ پستهٔ وحشی در کنار تغییرات اقلیمی باعث شده تا زیستگاه‌های کنونی این گونه در استان خراسان رضوی به‌شدت در خطر باشد. این بهره‌برداری‌های غیراصولی بدون در نظر گرفتن قابلیت‌های محیطی در عرصه‌های منابع طبیعی یکی از مشکلات منابع طبیعی استان خراسان و کشور است که به مرور باعث از بین رفتن آب، خاک و گیاهان در این منطقه می‌شود. هر چند در این مطالعه تنها به بررسی عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی در حال و آینده به جهت نمایش مناطق مستعد حضور گونهٔ پستهٔ وحشی بسنده شد، اما به‌منظور توانایی درک عمیق‌تر و شناخت بهتر برای احیاء مناطق آسیب‌دیده و حفظ مناطق در معرض خطر و هم‌چنین بهبود توانایی مدل‌های بوم‌شناختی در پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوهٔ گونه‌های گیاهی (Barnes and Harrison, 1982)، علاوه‌بر این عوامل باید عوامل دیگری نظیر عوامل انسانی، انواع بهره‌برداری‌ها، چرای دام، حیات‌وحش، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، کاربری اراضی، شرایط هیدرولوژیکی، وضعیت اقتصادی و اجتماعی و بسیاری از عوامل از قلم افتادهٔ دیگر که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در پراکنش این گونه

تأثیر دارند بررسی شوند. مطالعات بسیاری که بر روی گونه‌های گیاهی مختلف انجام شده است. علیرغم تفاوت در مقیاس، وسعت و شیوهٔ کار، روش‌های ماشین‌بردار را به‌عنوان روش‌هایی کارآمد معرفی می‌کنند. در این پژوهش نیز سعی برآن بود که مدل‌های مختلف ماشین‌بردار پراکنش گونه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد و پس از آن مناسب‌ترین مدل که جنگل تصادفی بود انتخاب شد. مدل‌های توزیع گونه‌ای ابزارهای مفید و مقرون به صرفه‌ای به‌منظور استفادهٔ مدیران منابع طبیعی هستند و آگاهی و قدرت تصمیم‌گیری آن‌ها را نسبت به اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌ها افزایش می‌دهد (Haidarian Aghakhani et al., 2017).

نقشه‌های تولید شده در مدل جنگل تصادفی علاوه‌بر این‌که می‌تواند مناطق مستعد به رویش گونهٔ پستهٔ وحشی را در زمان‌های حال و آینده مشخص کند، هم‌چنین می‌تواند مناطق حساس و رویشگاه‌ها و پناهگاه‌های قابل تصور در آینده را برای این گونه مشخص کند که این اطلاعات در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند در استراتژی‌های حفاظتی، توسعه‌ای و اصلاحی به کمک مدیران مراتع و بوم‌سازگان بیاید تا بتوانند حضور گونهٔ پستهٔ وحشی را در آینده تضمین کنند.

منابع

الماسیه، کامران، ذرتی‌پور، امین، و نگارش، کاظم (۱۳۹۹). بررسی مطلوبیت رویشگاه و طراحی ارتباط‌های رویشگاهی گیاه مرتعی گل گندم بهبهانی (*Centaurea pabotii*) در جنوب غربی ایران به‌عنوان مهاجم مزارع گندم. *مرتع و آبخیزداری*، ۷۳(۳)، ۵۷۸-۵۹۸. doi:10.22059/jrwm.2020.294764.1447

خواجه الدین، سید جمال الدین، و یگانه، حسن (۱۳۸۹). بررسی رابطهٔ گونه‌های گیاهی منطقهٔ شکار ممنوع کرکس با عوامل پستی و بلندی و اقلیم. *مرتع*، ۴(۳)، ۳۸۰-۳۹۱.

ضرابی، مهدی، حقدادی، رسول، و یوسفی، حسین (۱۳۹۶). مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه پستهٔ ارگانیک (وحشی) (*Pistacia vera*) با استفاده از روش آنتروپی حداکثر (MaxEnt) در منطقهٔ جنگلی سرخس (زیرحوزهٔ گنبدلی استان خراسان رضوی). *اکوهیدرولوژی*، ۴(۳)، ۸۱۷-۸۲۴. doi:10.22059/ije.2017.62636

عبدالهی، جلال، و نادری، حسین (۱۳۹۱). بررسی اثر متغیرهای توپوگرافی و خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک بر نحوهٔ عملکرد پارامترهای مؤثر بر رشد *Artemisia sieberi* در مراتع استپی ندوشن یزد. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۲۵(۴)، ۵۲-۶۲.

قلی‌نژاد، بهرام، جعفری، محمد، زارع چاهوکی، محمدعلی، آذرنیوند، حسین، و پوربابایی، حسن (۱۳۹۳). بررسی اثر عوامل محیطی و مدیریتی بر گسترش تیپ‌های گیاهی (مطالعهٔ موردی: مراتع سارال استان کردستان). *مرتع و آبخیزداری*، ۶۷(۲)، ۲۷۹-۲۸۸. doi:10.22059/jrwm.2014.51832

مظفریان، ولی الله. (۱۳۹۴). شناخت گیاهان دارویی و معطر ایران. چاپ اول، نشر تهران فرهنگ معاصر، ۱۴۴۴ صفحه.

مومنی دامنه، جواد، اسماعیل‌پور، یحیی، غلامی، حمید، و فراشی، آزیتا (۱۴۰۰). پیش‌بینی مناطق مناسب رویش گونهٔ آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در شمال شرق ایران با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۸(۳)، ۵۷۸-۵۹۲. doi:10.22092/ijrdr.2021.125016

مومنی دامنه، جواد، اسماعیل‌پور، یحیی، غلامی، حمید، و فراشی، آزیتا (۱۴۰۰). کاربرد مدل حداکثر آنتروپی در تعیین رویشگاه بالقوهٔ گونه *Astracantha gossypina* (Fisch.) Podlech در شمال شرق ایران. *حفاظت زیست‌بوم گیاهان*، ۹(۱۹)، ۲۱۷-۲۳۶.

References

Abdollahi, J., & Naderi, H. (2012). Soil and topographical variation influencing the growing factors of artemisia sieberi in steppic rangeland, Nodoushan-Yazd. *Watershed Researchs (Research and Construction)*, 25(4), 52-62. [In Persian]

Akihiko, I., & Hajima, T. (2020). Biogeophysical and biogeochemical impactsof land-use change simulated by MIROC-ES2L. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 1-15. doi:10.1186/s40645-020-00372-w

Almasieh, K., Zoratipour, A., & Negaresh, K. (2020). Habitat suitability and connectivity assessment for a range plant Behbahanian knapweed (*Centaurea pabotii*) in Southwest of Iran as an invader for wheat fields. *Journal of Range and Watershed Managment*, 73(3), 578-598. doi:10.22059/jrwm.2020.294764.1447 [In Persian]

Arazi, S., & Sarhangzadeh, J. (2020). Habitat suitability of Francolinus francolinus in Sistan region. *Journal of Environmental Science Studies*, 5(4), 3115-3123.

Ardestani, E.G., Tarkesh, M., Bassiri, M., &. Vahabi, M.R. (2015). Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. *Journal of Arid Land*, 7(3), 381-390. doi:10.1007/s40333-014-0050-4

Barnes, P.W., & Harrison, A.T. (1982). Species distribution and community organization in a Nebraska Sandhills mixed prairie as influenced by plant/soil water relationships. *Oecologia (Berlin)*, (52), 192–201. doi:10.1007/bf00363836

Bellard C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365-377.

Cheaib, A., Badeau, V., Boe, J., Chuine, I., Delire, C., Dufrene, E., Franc, C.,. Gritti, E.S, Legay, M. (2012). Climate change impacts on tree ranges: model intercomparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. *Ecology Letters*, 15, 533–544. doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01764.x

Cheng, L., Lek, S., Lek-Ang, S., & Li, Z. (2012). Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 42(2), 127-136. doi:10.1016/j.limno.2011.09.007

Diaz-Varela R.A., Colombo, R., Meroni, M., Calvo-Iglesias, M.S., Buffoni, A., & Tagliaferri, A. (2010). Spatio-temporal analysis of alpine ecotones: a spatial explicit model targeting altitudinal vegetation shifts. *Ecological Modelling*, 221, 621–633. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.11.010

Ernakovich, J.G., Hopping, K.A., Berdanier, A.B., Simpson, R.T., Kachergis, E.J., Steltzer, H., & Wallenstein, M.D. (2014). Predicted responses of arctic and alpine ecosystems to altered seasonality under climate change. *Global Change Biology*, 20, 3256–3269. doi:10.1111/gcb.12568

Esmaili, R., Montazeri, M., Esmaeilnejad, M., & Saber Truth, A. (2011). Climatic zoning of Khorasan Razavi using multivariate statistical methods. *Climatology Research*, 2(7-8), 43-56.

Feeley, K.J., Silman, M.R., Bush, M.B., Farfan, W., Cabrera, K.G., Malhi, Y., Meir, P., Revilla, N.S., Quisiyupanqui, M.N.R., & Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*, 38, 783–791. doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02444.x

Fielding, A.H., & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Journal of Environmental Conservation*, 24 (2), 38-49. doi:10.1017/s0376892997000088

Flagmeier, M., Long, D.G., Genney, D.R., Hollingsworth, P.M., Ross, L.C., & Woodin, S.J. (2014). Fifty years of vegetation change in oceanic-montane liverwort-rich heath in Scotland. *Plant Ecology Diversity*, 7, 457– 470.

Galton, F. (1892). *Finger prints Macmillan*. London, 216 pages.

Gauch, H.G., & Whittaker, R.H. (1972). Coenocline simulation. *Journal Ecology*, (53), 446–451. doi:10.2307/1934231

Gholinejad, B., Jaffari, M., Zarechahuki, M.A., Azarnivand, H., & Pourbabaei, H. (2014). Environmental and managerial factors effects on plant species distribution (Case study: Saral rangelands of Kurdistan province). *Journal of Range and Watershed Management*, 67(2), 279-288. doi:10.22059/jrwm.2014.51832 [In Persian]

Golestaneh, S.R., Karampour, F., & Farrar, N. (2012). Introduction of the destructive agents affecting wild almond Amygdalus scoparia forests in Koh-Siah Dashti area in Bushehr Province. *Journal of Forest and Range Protection Research*, 10, 153-164.

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* , 8, 993–1009. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x

Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. (2017). Forecasts of climate change effects on Amygdalus scoparia potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3), 1-14.

Heikkinen, R.K., Luoto, M., Araújo, M.B., Virkkala, R., Thuiller, W., & Sykes, M.T. (2006). Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30(6), 751-777. doi:10.1177/0309133306071957

Helm, A., Hanski, I., & Pärtel, M. (2006). Slow response of plant species richness to habitat loss and fragmentation. *Ecology letters*, 9(1), 72-77. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00841.x

Hirzel, A.H., & Guisan, A. (2002). Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 157 (2–3), 331–341. doi:10.1016/s0304-3800(02)00203-x

Jarvie, S., & Svenning, J.C. (2018). Using species distribution modelling to determine opportunities for trophic rewilding under future scenarios of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1761), 170-201. doi:10.1098/rstb.2017.0446

Khajeddin, S.J., & Yeganeh, H. (2010). The relationship between plant species in no-hunting area of vulture with postal and elevation factors and climate. *Journal of Rangeland*, 4(3), 380-391. [In Persian]

Kumari, P., Wani, I.A., Khan, S., Verma, S., Mushtaq, S., Gulnaz, A., & Paray, B.A. (2022). Modeling of *valeriana wallichii* habitat suitability and niche dynamics in the Himalayan Region under anticipated climate change. *Biology*, 11, 498. doi:10.3390/biology11040498

Momeni Damaneh, J., Esmaeilpour, Y., Gholami, H., & Farashi, A. (2022). Prediction of potential habitats of *Astracantha gossypina* (Fisch.) Using the maximum entropy model in regional

scale. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 9(19), 217-236. [In Persian]

Momeni Damaneh, J., Esmaeilpour, Y., Gholami, H., & Farashi, A. (2021). Properly predict the growth of (*Ferula assa-foetida* L.) in northeastern Iran using the maximum entropy model. *Journal of Range and Desert Research of Iran*, 28(3), 587-592. doi:10.22092/ijrdr.2021.125016 [In Persian]

Mozzafarian, V. (2012). *Recognition of medicinal and aromatic plants of Iran*. 1th Edition: Tehran Farhang-e Moaser publications, 1444 pages. [In Persian]

Oksanen, J., & Minchin, P.R. (2002). Continuumtheory revisited: what shape are species responses along ecological gradients. *Ecological Modelling*, (157), 119–129. doi:10.1016/s0304-3800(02)00190-4

Pearson, R.G., Thuiller, W., Araújo, M.B., Martinez‐Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T.P., & Lees, D.C. (2006). Model‐based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1704-1711. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01460.x

Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190 (3), 231-259. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Piri Sahragard, M., Ajorlo, M., & Karami, P. (2020). Predicting impacts offuture climate change on the distribu-tion and ecological dimension of *Amygdalus scoparia Spach*. *Italian Journal of Agrometeorology*, (2), 117-130.

Polechová, J., & Storch, D. (2008). Ecological Niche. *Encyclopedia of Ecology*, (2), 1088-1097.

Sarhangzadeh, J. (2019). Habitat suitability modeling for Juniper (*Juniperus foetidissima*) in Arasbaran Biosphere Reserve. *Journal of Forest Research and Development*, 5(1), 93-112.

Shrestha, U.B., Sharma, K.P., Devkota, A., Siwakoti, M., Shrestha, B.B. (2018). Potential impact of climate change on the distribution of six invasive alien plants in Nepal. *Ecological Indicators*, 95, 99-107. doi:10.1016/j.ecolind.2018.07.009

Smeeton, N.C. (1985). Early history of the kappa statistic. *Biometrics*, 41(3), 77-95.

Sproull, G.J., Quigley, M.F., Sher, A., Gonzalez, E. (2015). Long-term changes in composition, diversity and distribution patterns in four herbaceous plant communities along an elevational gradient. *Journal of Vegetation Science*, 26, 552–563. doi:10.1111/jvs.12264

Stockwell, D., & Peters, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2), 143–158. https://doi.org/10.1080/136588199241391

Swets, J.A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293. doi:10.1126/science.3287615

Thuiller, W. (2014). Editorial commentary on BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global change Biology*, 20(12), 3591-3592. doi:10.1111/gcb.12728

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M.B. (2009). Biomod– a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32 (3), 369-373. doi:10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x

Vandermeer, J.H. (1972). Niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, (3), 107-132.

Walther, G.R., Post. E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389-395.

Wiens, J.A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C.A., & Snyder, M.A. (2009). Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings National Academy Sciences USA*, 106, 19729–19736. doi:10.1073/pnas.0901639106

Yi, Y.J., Cheng, X., Yang, Z.F., & Zhang, S.H.. (2016). Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (H. riparia Lour) in Yunnan, China. *Ecological Engineering*, (92), 260-269. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.04.010

Zarkami, R., Ahmadi, M., & Abedini, A. (2021). Habitat modeling of (*eichhornia crassipes*) in some wetlands of Guilan province. *Journal of Plant Research*, 34(2), 275-286. doi:10.1007/s13157-021-01405-w

Zarrabi, M., Haqdadi, R., & Yousefi, H. (2017). Modeling desirability of organic pistachio habitat (*Pistacia Vera*) using maxent method in Sarakhs forest area (under Gonbadli basin of Khorasan Razavi province). *Ecohydrology*, 4(3), 817-824. doi:10.22059/ije.2017.62636 [In Persian]

Zhang, X., Yuan, Y., Zhu, Z., Ma, Q., Yu, H., Li, M., Ma, J., Yi, S., He, X., & Sun, Y. (2021). Predicting the distribution of *oxytropis ochrocephala bunge* in the source region of the Yellow River (China) Based on UAV Sampling Data and Species Distribution Model. *Remote Sensing*, 13, 5129. doi:10.3390/rs13245129